

## Analyse de la variabilité des précipitations sahéliennes et évaluation des impacts sur l'environnement de quelques localités nigériennes et maliennes

BOLAKONGA Ilye<sup>1</sup> et OZER Pierre<sup>2</sup>

### Résumé

*Les seize stations étudiées vont du climat sahélien à l'extrême sud du Niger près du lac Tchad au climat soudanien au sud ouest du Niger avec respectivement de précipitations annuelles de 210 mm à 816 mm. La plupart des stations sont sahéliennes et ont des précipitations comprises entre 300 et 600 mm. L'analyse des proportions des précipitations extrêmes par rapport au total des précipitations annuelles montre que plus les régions sont sèches, plus la proportion des événements extrêmes est, en terme relatif, élevée. Alors qu'elle est en moyenne de 30%, elle s'élève jusqu'à des valeurs comprises entre 41 et 60% dans les localités les plus sèches. Ceci a des conséquences aussi bien sur la répartition des pluies et donc sur la couverture végétale que sur le substrat pédologique qui serait mieux exposé à l'érosion. Toutefois, pour l'ensemble des stations, la hauteur de la précipitation quotidienne la plus élevée de l'année est restée plus ou moins stable ; avec la dégradation de l'environnement, le risque d'érosion se serait également accru. Par ailleurs, le test de Pettitt révèle que, pour toutes les stations, plus de 75% des ruptures sont survenues entre 1965 et 1971 suggérant que la sécheresse de la deuxième décennie des années 1960 est l'événement pluvieux qui aura le plus marqué le régime pluviométrique dans la période de notre étude (1941 à 1990).*

**Mots-clés** : précipitations extrêmes, proportion extrême, environnement, sahélien.

### Abstract

*Our sixteen stations go from the Sahelian climate at the Niger's southern extreme near of the lake Chad to the soudanian climate at the Niger's southern west with respectively annual precipitations 210 and 816 mm. The majority of the stations are Sahelian and have the precipitations between 300 and 600 mm. The analysis of the proportions of extreme precipitations to the total of annual precipitations shows that the drier areas are the more where proportion of the extreme events is relatively high. Whereas it is on average 30%, it rises up to values between 41 and 60% in the driest localities. This has consequences as on the distribution of the rains and thus on the vegetable cover as on the pedological substrate which would be better exposed to erosion. However, on the whole of the stations, the highest precipitation daily height of the year remained generally stable; with the environmental damage, the risk of erosion would have also increased. Moreover, the test of Pettitt reveals that, for all the stations, more than 75% of the ruptures occur between 1965 and 1971 suggesting that the dryness of the second decade of the years 1960 is the rainy event which will have the most marked the pluviometric mode during our study time (1941 to 1990).*

**Key words** extreme precipitations, extreme proportion, environment, sahelian.

### I. INTRODUCTION

Les pluies, tout en déterminant la périodicité des saisons, régulent la plupart d'activités vitales sous les tropiques. Cette assertion est d'autant plus vraie que, dans la région faisant l'objet de notre étude, elles se montrent particulièrement capricieuses et quelques fois insuffisantes. La tendance des fluctuations temporelles est en général à la baisse donnant lieu à des périodes de fortes sécheresses. Il va s'en dire que la conséquence d'une telle situation est l'aggravation de la crise alimentaire qui frappe depuis des décennies ladite région.

Par ailleurs, les fluctuations inter annuelles se manifestent non seulement sur la quantité des précipitations annuelles mais aussi sur la hauteur des pluies journalières. Il arrive qu'en l'espace d'un intervalle de jours réduit, on puisse enregistrer plus de 40% du total des précipitations de l'année. En outre, certains jours en certaines années, à eux seuls, ont une hauteur supérieure à certaines autres années entières pour une station considérée. A Filingué par exemple, la hauteur de la précipitation

<sup>1</sup> Institut Facultaire des sciences Agronomiques de Yangambi (RDCongo), Département de Sol et Eau. Email : [bilybolak@yahoo.fr](mailto:bilybolak@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Université de Liège (Belgique), Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. Email : [pozer@ulg.ac.be](mailto:pozer@ulg.ac.be)

recueillie le 14 août 1953 (142 mm) est supérieure au total des précipitations enregistrées en 1987 (131,1 mm). Ces pluies dites extrêmes sont quelques fois à l'origine des phénomènes érosifs qui exacerbent la dégradation des sols amplifiant ainsi le processus de désertification.

Cette recherche se fixe comme objectif une meilleure connaissance de la variabilité spatio-temporelle du climat et des risques éco-climatiques liés aux pluies extrêmes à travers l'analyse de leur intensité, de leur fréquence etc. Le but visé étant de définir des stratégies pour juguler les conséquences de cette variabilité sur les populations concernées et sur l'environnement. Car le contexte de famine et de sécheresse récurrente qui frappent de plein fouet les populations de ces milieux depuis de nombreuses décennies nécessite non seulement une mobilisation humanitaire mais aussi et surtout une mobilisation scientifique et intellectuelle aussi bien pour chercher à comprendre la situation qui y sévit que pour tenter de trouver des moyens simples, idoines, écologiquement sains, économiquement rentables ou moins coûteux afin de réduire sinon l'aléa, au moins la vulnérabilité des populations.

Ce travail n'est qu'une amorce qui renseigne sur certains points et qui pourrait orienter des études plus fouillées.

## II. MILIEU D'ETUDE

### 2.1 Contexte socio-économique

Le Niger et le Mali (24 millions d'habitants) comptent parmi les pays les plus pauvres de la planète. On estime que 72,8% et 61,4% de la population vivent avec moins d'un dollar US par jour respectivement au Mali et au Niger (UNDP, 2005). Le taux d'accroissement de la population (de 1975 à 2002) est l'un des plus élevés au monde avec 3,3% au Niger et 2,6% au Mali. Le taux de fertilité est d'environ sept et huit enfants par femmes respectivement au Mali et au Niger (UNDP, 2005). Dans les vingt années à venir ces pays pourraient doubler leurs populations (FAO, 2004) si rien n'est fait dans le sens de réduire ou du moins de contrôler les naissances.

Bien que des contraintes écologiques, environnementales, physiques et climatiques pèsent lourdement sur le développement économique et la survie des populations, il importe de noter les multiples pressions anthropiques matérialisées par le déboisement, le surpâturage, ou encore la surexploitation des terres accompagnée par la détérioration des sols.

### 2.2 Brève caractérisation du climat de la région

La région étudiée est située dans l'un des milieux le plus ensoleillé et le plus chaud de la planète où passe l'équateur thermique et est donc soumise à un climat essentiellement sec avec des fortes amplitudes de températures journalières et même de fortes amplitudes pluvieuses intra et inter annuelles (Ministère de l'Environnement du Niger, 2000). Plus du trois quart de ladite région est désertique avec le désert de Ténéré couvrant plus de 350.000 km<sup>2</sup>. Le climat qui prévaut dans la région est tropical semi-aride, aride et même désertique ; une infime partie connaît un climat soudano-sahélien (dans l'extrême sud-ouest du Niger). Le trait marquant de la région est tout de même la sécheresse qui y fait sa triste renommée.

Le régime pluviométrique est scindée en deux saisons bien distinctes : l'une sèche se répartissant sur une période de cinq à sept mois allant d'octobre en avril ; l'autre pluvieuse, en été, allant de mai à octobre (Ozer, 2000). L'une des caractéristiques majeures de la pluviométrie dans cette région reste la grande variabilité de sa répartition spatio-temporelle ; les précipitations sont souvent insuffisantes, mal distribuées et irrégulières (Hudson, 1990).

### 2.3. Sols

Les deux principaux types de sols zonaux de la région d'étude sont les sols ferrugineux tropicaux et les sols bruns et brun rouge steppiques.

1. **les sols ferrugineux tropicaux** correspondent aux ustals selon la *Soil Taxonomy* et au luvisols ferriques selon la classification de la FAO (Calembert, 1995). On le retrouve sous le climat semi-aride soudanien. Ce sont des sols moins profonds, souvent tronqués par l'érosion. La texture est sablo-argileuse ; la structure pulvérulente et la faible teneur en matière organique augmentent leur susceptibilité à l'érosion.

2. **les sols bruns et brun-rouge** steppiques correspondant aux xérosols selon la FAO ou aux aridisols selon la classification américaine, se caractérisent par une teneur en matière organique très faible, inférieure à 1% et leur faible profondeur ne dépassant guère 1 m (Calembert, 1995). Comme on le remarque, ces sols sont malheureusement assez superficiels, ayant une faible teneur en argile et en humus ; ceci réduit la perméabilité des horizons profonds (Thomann, 1964 ; Boulaine, 1975) favorisant ainsi l'engorgement et, de ce fait, le ruissellement à l'occasion des pluies intenses.

#### 2.4. Végétation

Nos 16 stations se répartissent sur deux grands domaines biogéographiques : le domaine soudanien et la région soudano-zambézienne.

1. **Le domaine soudanien** : Ce domaine porte une savane caractérisée par une strate herbacée continue colonisée principalement par les graminées vivaces de grande taille. La limite de son isohyète est située entre 500 et 550 mm. Ce domaine correspond à la “ Savane arborée-arbustive ” avec comme espèces caractéristiques *Cola laurifolia*, *Gilbertiodendron glandulosum*, *Acacia albida*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegal*, *Ziziphus mauritania*, *Faidherbia albida*, *Guibourtia copallifera* (De Fabrègues, 1980). Les localités se situant dans ce domaine sont Gaya, Magaria et Dosso ; Niamey et Maradi sont à l'interface de ces deux domaines (cfr figure1).
2. **Le domaine soudano-zambézien** : sa végétation est une steppe, l'évolution de la strate herbacée reflète celle des conditions pluviométriques (Bolakonga, 2005). On note encore quelques vestiges de formations ligneuses parsemées dans ce domaine, témoins de ce qu'a été ce milieu avant sa détérioration : *Acacia tortilis*, *Aristida mutabilis* et quelque fois *Acacia senegal*. Il y a également la présence de *Balanitaceae* : le dattier du désert, *Balanites aegyptiaca* ; le *Commiphora africana* (Doucet, 2005 ). La totalité des stations hormis celles citées précédemment appartiennent à ce second domaine aussi dénommé “ Steppe arborée-arbustive de la zone sédentaire ” (De Fabrègues, 1980).



Figure 1 Localisation des stations

### III. METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Nos données proviennent de 16 stations météorologiques dont 2 au Mali et 14 au Niger et représentent la pluviométrie journalière en millimètres (mm) de 1941 à 1990. Leur distribution géographique est présentée à la figure 1.

Etant donné que la région étudiée couvre des domaines climatiques assez contrastés dont la pluviométrie moyenne va de 210 mm Nguigmi à 816 mm à Gaya, nous avons opté pour l'analyse du 99<sup>e</sup> percentile tel que proposé par Haylock *et ses collaborateurs* (2005).

Pour définir un événement extrême, les percentiles sont calculés en utilisant toutes les données. Pour ce qui est des précipitations annuelles en mm, ceci inclut les jours pluvieux tout comme les jours secs. Ainsi, nous nous basons sur les travaux antérieurs de Manton *et collaborateurs* (2001), Griffiths *et al.* (2003) et Haylock *et al.* (2005).

Le calcul du 99<sup>e</sup> percentile a été effectué systématiquement sur la période de 1961 à 1990, période de trente années répondant aux normes de l'Organisation Mondiale Météorologique (OMM). Sur cet échantillon de données, le 99<sup>e</sup> percentile a été défini comme étant la 110<sup>e</sup> valeur la plus élevée de la série considérée.

Nous avons retenu les différents paramètres relatifs aux précipitations ainsi que quatre indices liés aux précipitations extrêmes en mm :

1. **Le total pluviométrique annuel** (en mm), déterminé en faisant la somme des pluies recueillies au cours de chaque année, afin d'évaluer leur évolution au fil du temps.
2. **La hauteur de la pluie la plus intense de l'année**, en mm (Drmm), détectée par visualisation du pic pluvieux le plus élevé de chaque année ; elle donne une idée de l'agressivité cette pluie.
3. **Le pourcentage de la pluie intense de l'année** (Drmm%) indique sa proportion sur le total pluvieux de l'année ; en d'autres termes, c'est la quantité de la pluie la plus intense de l'année divisée par le total pluvieux de chaque année.
4. **La fréquence des jours de pluie dépassant le 99<sup>e</sup> percentile** calculé sur la période de 1961 à 1990 (fréquence extrême) ; c'est le nombre de jours des pluies considérées comme extrêmes au cours de chaque année, supérieures au 99<sup>e</sup> percentile.
5. **Le total des précipitations provenant des événements pluvieux supérieurs ou égaux au 99<sup>e</sup> percentile** (intensité extrême) mesuré en mm, autrement, c'est la somme des pluies considérées comme extrêmes au cours de chaque année.
6. **Le pourcentage des précipitations provenant des événements pluvieux supérieurs ou égaux au 99<sup>e</sup> percentile par rapport au total pluviométrique annuel** (proportion extrême) ; c'est donc la somme des pluies extrêmes divisée par le total pluvieux annuel et ce, pour chaque année.

#### Traitements de données

Nous avons eu recours au test de Mann et Pettitt qui est un test non paramétrique qui permet de détecter des ruptures de tendances dans les séries chronologiques sur des régressions linéaires et d'identifier les années charnières afin de visualiser les diminutions ou les augmentations au fil du temps.

La corrélation nous a également permis de savoir à quelle proportion les quantités des événements extrêmes sont dépendantes du total des précipitations annuelles.

### IV. ANALYSES DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE

#### 4.1. Résultats pluviométriques

Les résultats obtenus dans notre étude sont résumés dans les tableaux 1 et 2. Les analyses détaillées station par station sont données juste après les tableaux synoptiques. Nous avons retenu la station de FILINGUE que nous présentons avec les graphiques, courbes, résultats statistiques de corrélation au point 3.3.

Tableau 1 : Moyennes de différents indicateurs de chaque station

Indicateurs →	Précipitation annuelle	99 <sup>e</sup> percent.	Int <sup>te</sup> extrême	Proport. extrême	Frqce extrême	Drmm	% Drmm
Stations ↓							
BIRNI NKONNI	531,3	29,4	186,9	33,0	4,4	55,9	10,7
FILINGUE	426,9	27,7	195,2	42,4	4,5	58,8	14,4
GAYA	815,6	38,8	225,5	26,3	4,2	66,5	8,2
MAGARIA	580,3	32,8	208,0	33,5	4,1	66,4	11,8
MARADI	544,2	31,2	194,6	33,5	4,3	56,0	10,7
NIAMEY	555,6	33,2	178,3	30,9	3,7	61,6	11,2
TAHOUA	384,9	23,2	132,5	32,6	3,8	45,4	11,9
TILLABERI	444,4	27,7	178,5	37,9	4,2	58,4	13,6
DOSSO	603,8	34,0	184,0	29,5	3,8	63,9	11,0
GAO	218,7	14,9	123,5	52,5	4,5	42,3	19,7
GOURE	336,5	22,4	165,3	45,4	4,5	51,3	16,1
MAINESOROA	366,3	24,5	157,2	40,6	4,0	57,4	16,4
NGUIGMI	209,5	16,0	138,1	59,6	4,4	44,5	22,7
NIORO	524,2	30,4	198,6	35,1	4,3	63,5	12,1
TERA	445,9	27,6	172,4	38,0	4,3	54,3	12,8
ZINDER	463,1	28,2	191,4	38,6	4,5	57,5	12,9

De la lecture attentive du tableau 2, il apparaît que nos stations vont du climat semi-aride à Nguigmi à l'extrême est du Niger près du lac Tchad avec une pluviométrie moyenne annuelle de 210 mm au climat soudano-sahélien au sud-ouest du Niger, à Gaya où l'on enregistre des précipitations annuelles de l'ordre de 816 mm. La plupart des autres stations sont marquées par des précipitations moyennes annuelles comprises entre 300 et 600 mm et sont donc sahéliennes. Il est clair que plus on descend vers le sud et qu'on avance vers l'ouest, plus importantes sont les précipitations (cfr. figure 1, tableau 2).

La proportion des précipitations extrêmes oscille autour de 30 et 35% pour la grande majorité des stations. Pour quelques-unes par contre, elle atteint des valeurs allant de 41 à 60% du total des précipitations annuelles. Il s'agit en général des stations dont les précipitations moyennes annuelles n'atteignent pas 400 mm, principalement les trois localités les plus sèches, à savoir Nguigmi avec 60%, Gao avec 53% et Gouré avec 45%. La même tendance s'observe pour la proportion de la précipitation la plus élevée de l'année (% Drmm). Celle-ci avoisine les 20% pour les mêmes localités alors qu'elle est d'environ la moitié seulement pour celles à plus grande pluviométrie. Il semble que plus les régions sont sèches, plus la proportion des événements extrêmes est, en terme relatif, élevée. Ceci pourrait avoir des conséquences préjudiciables assez importantes sur l'environnement et particulièrement sur le patrimoine foncier. La sécheresse s'étant installée du nord au sud (Morel, 1980), la dégradation du couvert végétal pourrait donc plus aisément exposer le sol aux érosions hydriques survenant à la suite des pluies extrêmes.

La fréquence des événements extrêmes est partout supérieure à 3,65. Le 99<sup>e</sup> percentile ayant été calculé sur base des données de 30 dernières années de la série (de 1961 à 1990), ceci reflète une plus grande pluviosité enregistrée dans les deux décennies précédentes (les années 1940 et 1950).

Tableau 3 : Identification des années des ruptures par station

Indicateurs Stations	Précipitat. annuelle	Intensité extrême	Proport. extrême	Frqce extrême	Drmm	% Drmm
BIRNI	--	--	--	--	--	+
NKONNI	1970	1959	1959	1959	1959	1980
FILINGUE	--	--	--	--	--	++
	1968	1968	1968	1968	1971	1967
GAYA	=	-	-	-	-	-
	XX	1970	1955	1970	1954	1949
MAGARIA	--	-	=	-	=	++
	1967	1965	XX	1966	XX	1970
MARADI	--	-	=	--	=	++
	1967	1970	XX	1970	XX	1967
NIAMEY	-	=	=	=	=	+
	1967	XX	XX	XX	XX	1968
TAHOUA	--	=	=	=	=	+
	1968	XX	XX	XX	XX	1970
TILLABERI	--	--	=	--	=	=
	1967	1967	XX	1967	XX	XX
DOSSO	--	=	=	=	=	=
	1967	XX	XX	XX	XX	XX
GAO	--	--	=	--	-	+
	1965	1965	XX	1965	1980	1965
GOURE	--	--	=	--	-	+
	1967	1962	XX	1966	1970	1966
MAINE-SOROA	=	-	=	--	=	++
	XX	1970	XX	1970	XX	1971
NGUIMI	-	-	--	--	=	=
	1966	1961	1961	1967	XX	XX
NIORO	--	--	-	--	--	=
	1966	1969	1969	1969	1968	XX
TERA	--	--	=	-	=	+
	1967	1961	XX	1961	XX	1968
ZINDER	--	--	=	--	=	=
	1966	1965	XX	1965	XX	XX

légendes

- -- : rupture très significative à la baisse,  $P < 0,01$
- - : rupture significative à la baisse,  $P < 0,05$
- ++ : rupture très significative à la hausse,  $P < 0,01$
- + : rupture significative à la hausse,  $P < 0,05$
- = : aucune rupture détectée
- Les années de ruptures sont notées en-dessous de la rupture et XX signifie qu'il n'y a pas eu rupture sur une quelconque année.

Tableau 4 : Fréquence des ruptures par indicateurs et par année

Année	Précipitation. annuelles	Intensité extrême	Proportion extrême	Frqce	Drmm	% Drmm	Total
1949						1	1
1954					1		1
1955			1				1
1959	1	1	1	1	1		5
1961		2	1	1			4
1962		1					1
1965	1	3		2		1	7
1966	3			1		1	5
1967	7	1		2		2	12
1968	2	1	1	1	1	2	8
1969		1	1	1		1	4
1970		3		3	1	1	8
1971					1	1	2
1980					1	1	2
Total	14	13	5	12	6	11	61

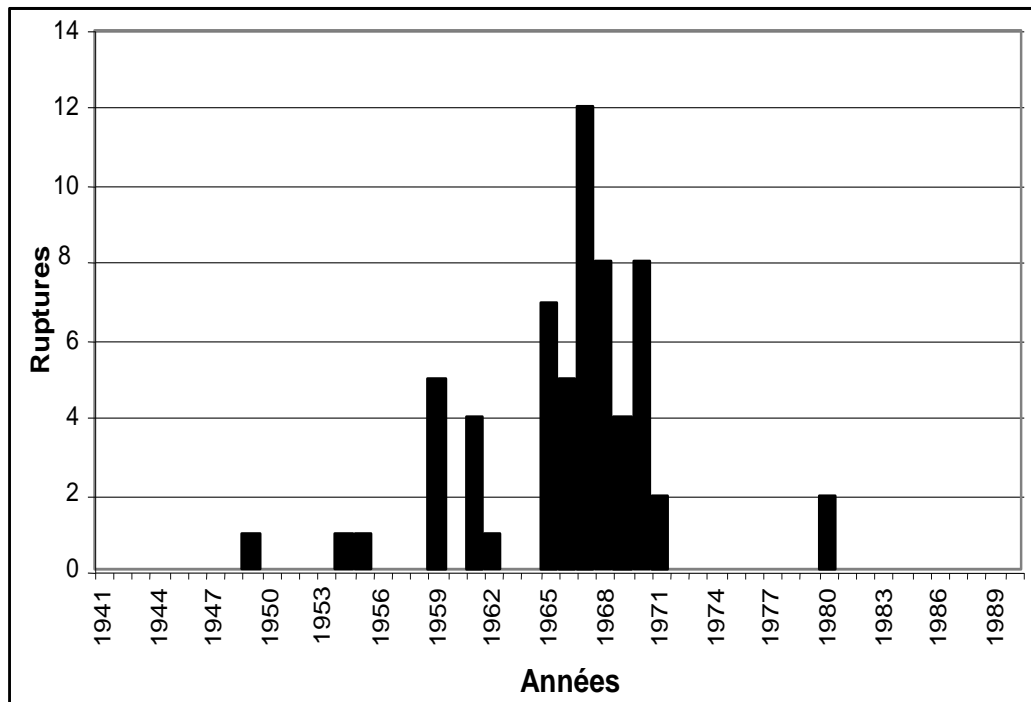


Figure 2.

Fréquence des ruptures par année

Il se dégage du tableau 3 que, pour tous les indicateurs étudiés, hormis le pourcentage de la pluie intense de l'année, toutes les ruptures significatives ou très significatives sont plutôt à la baisse. Les paramètres et indicateurs les plus concernés sont, dans l'ordre, les précipitations annuelles, l'intensité extrême, la fréquence extrême, le pourcentage de la pluie la plus intense de l'année, la hauteur de la pluie intense de l'année et enfin la proportion extrême. Sur les cinquante années qui ont fait l'objet de notre étude sur toutes les stations et pour tous les six indicateurs, c'est seulement sur quatorze d'entre elles que les ruptures ont été identifiées par le test non paramétrique de Pettitt. Toutefois, il importe de souligner que la grande majorité des ruptures sont survenues entre 1965 et 1971, au total 46 sur les 61 dénombrées soit une proportion de 75,41%, un peu plus du ¾ des ruptures



enregistrées (tableau 4, figure 2). Ceci suggère que la sécheresse de la fin des années soixante et du début des années septante reste l'événement majeur qui a marqué de façon plus ou moins significative le régime des précipitations de ces cinq décennies ; celle des années quatre-vingt est certes importante mais s'inscrit dans la continuité de la rupture des moyennes occasionnée par la période de sécheresse précédentes ; ces années (de 1965 à 1971) peuvent être considérées comme époque charnière marquant la chute du total pluviométrique.

Force est de constater que les années devenant de moins en moins pluvieuses, la proportion des précipitations journalières les plus élevées prend, elle, l'ascenseur, ce qui a des implications indubitablement pernicieuses sur la répartition des pluies au cours de la saison pluvieuse ; il va s'en dire que les activités anthropiques qui dépendent des pluies vont en pâtir, accroissant du coup la vulnérabilité des populations de cette région aux conditions déjà précaires.

### **3.2. Corrélation entre différents indicateurs**

Toutes les variables relatives aux événements extrêmes sont fortement corrélées entre elles avec un coefficient qui oscille autour de 0,90. Les précipitations annuelles quant à elles affichent une très bonne corrélation avec l'intensité extrême et avec la fréquence extrême (plus ou 90%). On note également une bonne corrélation entre la hauteur de la pluie intense de l'année et l'intensité extrême. En revanche, cette corrélation est moins importante avec les autres indicateurs tels que la proportion extrême et la hauteur de la pluie intense de l'année. Ceci suggère que la variabilité du total pluviométrique annuelle serait en grande partie dictée par celle de l'intensité extrême qui, à son tour, est tributaire des hauteurs des pluies intenses des années liées, quant à elles, à la fréquence des événements extrêmes. Cependant il serait intéressant de calculer le "*cross correlation*" ou la discrimination des variables pour identifier avec plus ou moins de certitude lequel des indicateurs influe le plus sur la pluviométrie annuelle.

Les résultats de l'application du test non paramétrique de Pettitt sur toute la série chronologique ainsi que sur les indicateurs précipitation annuelle et intensité extrême pour la station type de Filingué figurent dans les graphiques qui suivent.

## 1. Précipitations annuelles

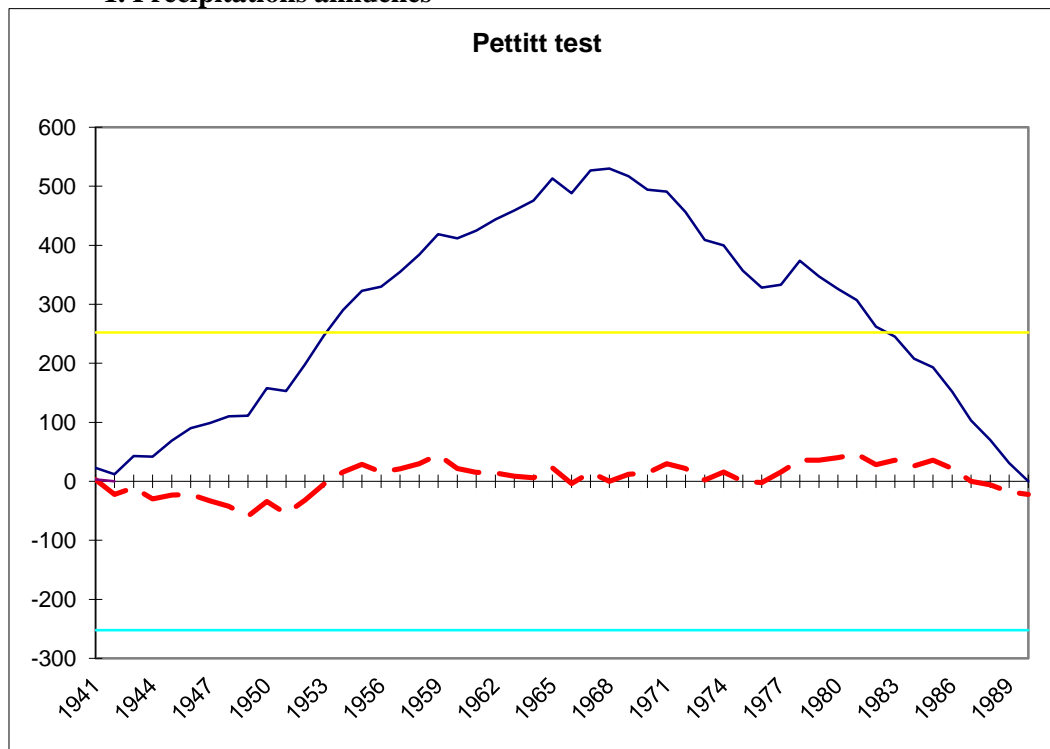


Figure 3 graphique du test de Pettitt indiquant les ruptures pour la pluviométrie à Filingué

### Résultat du test de Pettitt

Alpha max.  $1,8161 \times 10^6$  530 1968

Alpha min 1 0 1990

## 2. intensité extrême

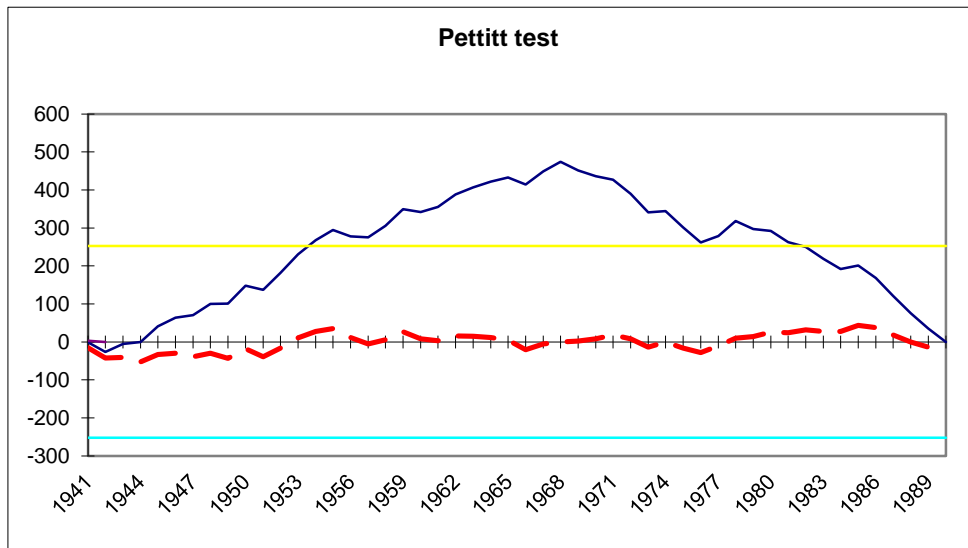


Figure 4 graphique du test de Pettitt indiquant les ruptures pour l'intensité extrême à Filingué

### Résultats du test de Pettitt

Alpha max.  $2,55982 \times 10^{-5}$  474 1968

Alpha min. 0,968688906 -26 1942

Le test de Pettitt détecte une rupture très significative à la baisse des précipitations annuelles (figure 3 et résultats du test), des précipitations extrêmes (figure 4 et résultats du test), de leur fréquence ainsi que de leur proportion en pourcentage en 1968. Ceci semble confirmer la très bonne corrélation observée entre ces indicateurs d'événements extrêmes et les précipitations. Par ailleurs, une rupture très significative à la baisse de la pluie la plus intense de l'année est identifiée en 1971 ; à l'opposé, l'application du test à la proportion en pourcentage de la pluie la plus intense de l'année met en exergue une rupture très significative à la hausse en 1967.

## V. IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Dans la plupart des stations, la hauteur de la pluie la plus intense de l'année ne connaît pas de rupture, ceci implique qu'au fil du temps, les pluies intenses sont restées quasiment les mêmes alors que l'environnement s'est dégradé. La couverture végétale a sensiblement diminué non seulement à cause de la baisse des précipitations annuelles mais aussi suite à la coupe des bois pour l'alimentation. La déforestation s'est également accrue (Ozer, 2004) dans la recherche effrénée des terres encore arables. Les sols ainsi dénudés se sont fragilisés davantage à la suite de la battance les frappant particulièrement en début de saison pluvieuse alors qu'ils ont une faible couverture végétale et que le sol a une perméabilité réduite à cause de l'encroûtement sous l'effet de la dessiccation et vers le mois d'août lorsque les pluies sont les plus intenses et qu'ils ont atteint leur degré de saturation (Bolakonga, 2005). Or la dégradation des sols s'accompagne de celle de la couverture végétale, celle-ci engendre la détérioration de l'environnement qui, à son tour, contribue, à terme à la modification du climat et on revient d'une manière ou d'une autre à l'amplification de la dépréciation du sol.

La préservation du sol et du couvert végétal pourrait induire la rupture de cette chaîne infernale qui entraîne à la fois la fragilisation de l'environnement et la vulnérabilité des populations aux conditions déjà précaires.

Une des idées serait le recours à des espèces, variétés et cultivars résistants à la sécheresse ou encore à la génétique pour la sélection des telles cultures. Le savoir local est également à prendre en compte dans le choix des méthodes de gestions des sols.

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

L'objectif de ce travail était d'analyser les pluies extrêmes et d'en évaluer les possibles retombées sur l'environnement de la région sahélienne. Nous avons eu recours, pour y parvenir, à six indicateurs pluviométriques qui sont les précipitations annuelles, l'intensité extrême définie comme le total des pluies supérieures ou égales au 99<sup>e</sup> percentile, la proportion extrême qui est le pourcentage de cette dernière par rapport au total pluvieux, la fréquence extrême (fréquence des pluies extrêmes), la hauteur de la pluie quotidienne la plus intense de l'année et sa proportion en pourcentage.

De ce qui précède, on peut retenir que les valeurs de précipitations annuelles sont très fluctuantes au fil du temps dans toutes les stations mais la tendance générale est à la baisse. Les différences inter annuelles sont si criantes que les amplitudes pluviométriques sont presque toujours plus que le double des précipitations les plus faibles. On peut également remarquer que le début des années 1950 correspond aux années très pluvieuses. Ce fait corrobore les résultats obtenus pour les moyennes de fréquences extrêmes toutes supérieures à 3,65. Les années 1980, quant à elles, enregistrent, dans la plupart des cas, la précipitation la plus faible. Toutefois, les années 1965 à 1971 sont celles pendant lesquelles surviennent plus de 75% des ruptures de tendance pour l'ensemble des indicateurs. Ceci suggère que la sécheresse de la deuxième moitié de la décennie 1960 reste l'événement qui aura le plus marqué le régime pluviométrique de la période de notre étude.

Par ailleurs, la proportion des précipitations extrêmes dont la moyenne oscille entre 30 et 35% pour plus de la moitié des stations augmente sensiblement jusqu'à atteindre des proportions comprises entre 41 et 60% pour des localités qui reçoivent le moins de précipitations annuelles, inférieures à 400 mm (Nguimi, Gao et Gouré). Il en est de même pour la proportion de la précipitation intense de l'année où l'on observe presque le double de celles des autres localités. On note également que plus le taux de précipitations est faible, plus la variabilité augmente (Le Houérou, 1986). Les régions les plus sèches semblent être celles où la proportion des événements extrêmes est la plus élevée, en terme relatif ; et donc serait les plus susceptibles au risque érosif étant donné que d'une part, la couverture végétale subirait des dégradations inéluctables et que d'autre part la survenue d'événements extrêmes emporteraient les sols, souvent peu profonds, déjà mal protégés ou dénudés, par le ruissellement.

En outre, pour l'ensemble des stations, on s'aperçoit qu'environ seul le tiers d'entre elles connaît une rupture significative pour la hauteur de la précipitation quotidienne la plus élevée ; elle est donc restée plus ou moins stable au cours du temps. En couplant les résultats pluviométriques aux impacts qui en découlerait sur le milieu, on se rend compte que le risque d'érosion se serait accru à cause de la dégradation continue de l'environnement qui se traduit par la réduction de la couverture végétale. Les sols dénudés seraient de plus en plus exposés au splash qui diminue la perméabilité des sols par les éclaboussures qui obstruent parfois certains pores d'infiltration. Or les modèles climatiques actuels indiquent que la fréquence des événements extrêmes devrait s'accroître dans les décennies à venir, spécialement dans les régions arides et semi-arides (Houghton *et al.*, 2001). Il semble par ailleurs que cette tendance vers des précipitations plus intenses se soit déjà observée en divers points du globe (Ozer *et al.*, 2005). En règle générale, cette augmentation des événements extrêmes suit la même tendance que les précipitations moyennes annuelles (Ozer *et al.*, 2005). Or, Ozer et ses collaborateurs (2003) ont montré que les précipitations sahéliennes ont connu une augmentation durant les années 1990. Cette amélioration pluviométrique ne s'étant pas accompagnée d'une amélioration significative des conditions environnementales (Hountondji *et al.*, 2004), il est probable que l'on enregistre aujourd'hui une augmentation des risques érosifs dans ces régions sahéliennes.

Au demeurant, de fortes corrélations sont observées entre tous les indicateurs d'événements extrêmes ; les précipitations annuelles quant à elles exhibent de bonnes corrélations avec la fréquence et l'intensité extrême. A Filingué, notre station type, la fréquence et l'intensité extrême sont très fortement corrélées ( $r > 0,90$ ) au total des précipitations annuelles et seraient grandement responsables de leur variabilité.

Cette situation est pernicieuse aussi bien pour les populations que pour les ressources naturelles et ce, à double titre, la faible quantité alimentaire sera partagée par un grand nombre de

bouches et l'environnement subira de plus en plus de pressions. Il en résultera sa dégradation rapide et donc la vulnérabilité de la population ne pourra aller que crescendo.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BOLAKONGA I., 2005 : Analyse des pluies extrêmes et impacts potentiels sur l'érosion des sols en région sahélienne, cas de quelques localités au Niger et au Mali. Mémoire de DES, inédit, Université de Liège.
- [2] BOULAIN J., 1975 : *Géographie des sols*, P.U.F.
- [3] CALEMBERT J., 1995 : Contribution au cours de gestion des sols en régions chaudes. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- [4] De FRABRÈGUES, B.P., 1980 : Végétation et faune du Niger in Atlas du Niger, éditions j.a. Paris
- [5] DOUCET, J.L., 2005 : Biogéographie végétale et bioclimatologie. Cours de DES en Gestion des Risques Naturels. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.
- [6] DOYEN A., 2004 : Ecologie et gestion des systèmes agricoles et forestiers. Syllabus de cours de DES en Gestion des Risques Naturels, inédit, Université de Liège, Campus d'Arlon
- [7] FAO, 2004 : FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/> (dernier accès: 16/08/2005)
- [8] GRIFFITHS G.M., SALINGER M. J. & LELEU I., 2003. Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23, 8, 847-869.
- [9] HAYLOCK M.R., PETERSON T., ABREU de SOUSA J.R., ALVES L.M., AMBRIZZI T., ANUNCIAÇÃO Y.M.T., BAEZ J., BARBOSA de BRITO J.I., BARROS V.R., BERLATO M.A., BIDEgain M., CORONEL G., CORRADI V., GARCIA V.J., GRIMM A.M., JAILDO dos ANJOS R., KAROLY D., MARENGO J.A., MARINO M.B., MEIRA P.R., MIRANDA G.C., MOLION L., MONCUNILL D.F., NECHET D., ONTANEDA G., QUINTANA J., RAMIREZ E., REBELLO E., RUSTICUCCI M., SANTOS J.L., TREBEJO I., VINCENT L., 2005: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. Soumis à *International Journal of Climatology*.
- [10] HOUGHTON J.T., DING Y., GRIGGS D.J., NOGUER M., Van Der LINDEN P.J., DAI X., MASKELL K. & JOHNSON C.A. (eds), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- [11] HOUNTONDJI Y.C., OZER P. & NICOLAS J., 2004 : Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. *Cybergeo*, No. 291, 10 novembre 2004. <http://193.55.107.45/articles/291.pdf>
- [12] HUDSON N.W., 1990 : Conservations des sols et des eaux dans les zones semi-arides, Bulletin pédologique de la FAO, n° 57.
- [13] LAURANT A. & BOLLINNE A., 1978 : Caractérisation des pluies en Belgique du point de vue de leur intensité et de leur érosivité. *Pédologie*, XXVIII, 2, p. 214 – 232, Gand.

- [14] LE HOUÉROU H.N., 1987: Agroforestry and sylvopastoralism to combat land degradation in the Mediterranean basin: old approaches to new problems. In Workshop desertification, Madrid.
- [15] MAMBANI B., 2000. Minéralogie des argiles et méthodes d'interprétation. Cours Universitaire inédit IFA/Yangambi.
- [16] MANTON M.J., DELLA-MARTA P.M., HAYLOCK M.R., HENNESSY K.J., NICHOLLS N., CHAMBERS L.E., COLLINS D.A., DAW G., FINET A., GUNAWAN D., INAPE K., ISOBE H., KESTIN T.S., LEFALE P., LEYU C.H., LWIN T., MAITREPIERRE L., OUPRASITWONG N., Page C.M., PAHALAD J., PLUMMER N., SALINGER M.J., SUPPIAH R., TRAN V.L., TREWIN B., TIBIG I. & YEE D., 2001 : **Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998.** *International Journal of Climatology*, 21, 3, 269-284.
- [17] MCBROOM M., CHANG M. & SAYOK A. K., 2005: Forest Clearcutting and Preparation on a Saline Soil in East Texas : Impacts on Water Quality.  
[http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr\\_srs048/article/gtr\\_srs048-mcbroom01.pdf](http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_srs048/article/gtr_srs048-mcbroom01.pdf) (dernier accès : 25/08/2005).
- [18] Ministère de l'environnement du Niger, 2000 : Exploitation et état des ressources naturelles au Niger.  
<http://www.unesco.org/off/allpdf/EE00333.pdf> (dernier accès : 10/08/2005)
- [19] MOREL A., 1980. Le climat du Niger in *Atlas du Niger*, éditions j.a. Paris
- [20] OZER P., 2004. Bois de feu et déboisement au Sahel : mise au point. *Sécheresse*, 15, 3, 243-251.
- [21] OZER P., TYCHON B., HOUNTONDI Y.C. & HORION S., 2005 : Trends in annual precipitation and extreme daily rainfall 1961-2003 in the Heilongjiang Province, north-east China. Soumis à *Hydrological Sciences Journal*.
- [22] OZER, P., 2000 : Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification. Thèse de doctorat en sciences géographiques, Université de Liège.
- [23] THOMANN C., 1964 : Les différentes fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'Ouest africain, cahier de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M, n°3
- [24] UNDP, 2005: Human Development Report Statistics  
[http://hdr.undp.org/statistics/data/cty/cty\\_f\\_NER.html](http://hdr.undp.org/statistics/data/cty/cty_f_NER.html) (dernier accès: 16/08/2005)